

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 37 07 984 A 1

⑤1 Int. Cl. 4:
G 02 B 5/30
G 02 B 5/08
// H 01 S 3/08

②1 Aktenzeichen: P 37 07 984.0
②2 Anmeldetag: 12. 3. 87
④3 Offenlegungstag: 22. 9. 88

Behördeneigenthum

⑦1 Anmelder:
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der
Wissenschaften eV, 3400 Göttingen, DE

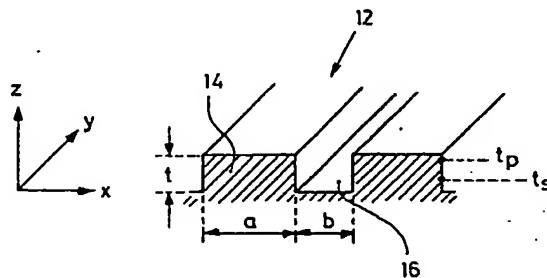
⑦4 Vertreter:
von Bezold, D., Dr.rer.nat.; Schütz, P., Dipl.-Ing.;
Heusler, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2 Erfinder:
Keilmann, Fritz, Dr., 7000 Stuttgart, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Polarisierender Spiegel für optische Strahlung

Es wird ein polarisierender Spiegel für optische Strahlung in einem Wellenlängenbereich vom Ultraviolett bis ins Infrarot, beschrieben, der eine reflektierende metallische Oberfläche hat, welche ein Reliefmuster aus Erhebungen (14) und Vertiefungen (16) aufweist, die zumindest in gewissen Bereichen der Oberfläche ein periodisches Muster bilden, wobei die effektive Breite (b) der Vertiefungen (16) etwa gleich einer halben Wellenlänge der Strahlung oder kleiner ist.



DE 37 07 984 A 1

Patentansprüche

1. Polarisierender Spiegel für optische Strahlung in einem Wellenlängenbereich vom Ultraviolett bis ins Infrarot, mit einer reflektierenden metallischen Oberfläche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Oberfläche ein Reliefmuster aus Erhebungen (14) und Vertiefungen (16) aufweist, die zumindest in gewissen Bereichen der Oberfläche ein periodisches Muster bilden, wobei die effektive Breite (b) der Vertiefungen (16) etwa gleich einer halben Wellenlänge der Strahlung oder kleiner ist.
2. Spiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen (14) eine Breite (a) haben, die groß im Vergleich zur Breite (b) der Vertiefungen (16) und groß im Vergleich zur Wellenlänge ist.
3. Spiegel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe aus den Breiten (a, b) einer Erhebung (14) und einer benachbarten Vertiefung (16) kleiner als die Wellenlänge der Strahlung ist.
4. Spiegel nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe (t) der Vertiefungen (16) ungefähr gleich einer Viertel-Wellenlänge ist.
5. Spiegel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich mindestens einer der Strukturparameter Breite (a) der Erhebungen (14), Breite (b) der Vertiefungen (16), Tiefe (t) der Vertiefungen (16) und Profilform über die Oberfläche des Spiegels ändert.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen polarisierenden Spiegel gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, insbesondere einen polarisierenden Metallspiegel für Laserstrahlung im Wellenlängenbereich vom Ultraviolett bis ins Infrarot, z. B. bis 200 μm .

Zur Polarisation von optischer Strahlung im Wellenlängenbereich vom Ultraviolett bis ins Infrarot sind zahlreiche Polarisationsvorrichtungen bekannt, die zum größten Teil aus dielektrischen Materialien, Folien oder Beschichtungen bestehen. Für Laserstrahlung hoher Leistung sind solche Polarisationsvorrichtungen ungeeignet, da ihre Belastbarkeit nicht ausreicht.

Metallspiegel haben zwar eine auch für hohe Strahlungsleistungen ausreichende Belastbarkeit, sie entfalten jedoch eine ausreichende Polarisationswirkung nur bei flachen Einfallswinkeln (streifendem Einfall), so daß sie nur begrenzt anwendbar sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zugrunde, einen polarisierenden Spiegel für Laserstrahlung zu schaffen, der hoch belastbar ist.

Diese Aufgabe wird durch einen gattungsgemäßen polarisierenden Spiegel mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen polarisierenden Spiegels sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Der polarisierende Metallspiegel gemäß der Erfindung entfaltet eine effektive Polarisationswirkung auch bei senkrechtem oder nahezu senkrechtem Einfall der zu polarisierenden Strahlung und hält auch sehr hohen Strahlungsleistungen stand. Er kann daher z. B. in einem Grundmoden-Laseroszillator als Resonatorspiegel verwendet werden, um eine Polarisationsentartung zu verhindern. Je nach Polarisation tritt dann die Laserresonanz bei verschiedenen Abstimmungen ein; bei hinreichender Bandbreite der Verstärkung ist eine simultane

Emission zweier orthogonal polarisierter Strahlen möglich, deren Frequenzdifferenz durch die Phasenverzögerung des Spiegels bestimmt wird.

Eine weitere vorteilhafte Anwendung ist die Umwandlung eines linear polarisierten Strahles in einen zirkular polarisierten oder umgekehrt.

Der vorliegende Spiegel kann eine gekrümmte Oberfläche haben und dann z. B. die beiden Funktionen Zirkularpolarisator und Fokussierspiegel vereinigen. In Verbindung mit einem Linearpolarisator erhält man einen hochbelastbaren Isolator zur Unterdrückung unerwünschter Strahlung, z. B. Strahlung, die von einem Werkstück reflektiert wird.

Bei drehbarer Anordnung des Spiegels, insbesondere um die zur Spiegelebene senkrechte z-Achse oder eine hierzu senkrechte, in der Spiegelebene liegende x-Achse, in Kombination mit weiteren Elementen, wie Linearpolarisatoren, erhält man einen kontinuierlich variablen polarisationserhaltenden Phasenschieber, einen Abschwächer bzw. Modulator, einen Kompensator für elliptische Polarisation oder einen Rotator für lineare Polarisation.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert, welche eine isometrische stark vergrößerte Schnittansicht eines polarisierenden Metallspiegels gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt.

Der vorliegende polarisierende Spiegel kann ganz aus Metall bestehen oder eine auf einem nichtmetallischen Substrat, wie Keramik, Quarz und dergl. angeordnete, die reflektierende Oberfläche bildende Metallschicht enthalten, die eine für die geforderte Belastbarkeit ausreichende Dicke (z. B. 0,5 bis 1 μm und mehr) hat.

Bei dem vorliegenden polarisierenden Spiegel ist die reflektierende metallische Oberfläche durch ein Reliefmuster aus langgestreckten, leistenartigen Erhebungen (14), die paarweise durch Vertiefungen (16) getrennt sind, strukturiert. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Erhebungen (14) gerade und parallel zueinander und das Reliefmuster hat ein rechteckwellenförmiges Profil. Die Erhebungen (14) und Vertiefungen (16) brauchen jedoch nur in der Größenordnung der Wellenlänge der Strahlung, für die der polarisierende Spiegel vorgesehen ist, geradlinig und parallel zueinander verlaufen. Makroskopisch gesehen können die Erhebungen und Vertiefungen auch gekrümmt sein, z. B. konzentrische Kreise, Ellipsen, Hyperbeln und dergl., die in im wesentlichen gleichen Abständen voneinander verlaufen, haben. Es können auch andere Profilformen, z. B. sägezahnartige Profile, Dreieckprofile, Sinusprofile und dergl. verwendet werden, um dem polarisierenden Spiegel spezielle Eigenschaften zu verleihen.

Im folgenden wird die Erfindung der Einfachheit halber unter Bezugnahme auf das in der Zeichnung dargestellte Ausführungsbeispiel mit den parallelen geradlinigen Erhebungen und Vertiefungen erläutert.

Wenn bei dem dargestellten polarisierenden Spiegel die (effektive) Breite (b) der Vertiefungen (16) kleiner als die Hälfte der Wellenlänge λ einer aus der Richtung +z einfallenden Strahlung gewählt wird, so kann die Komponente E_z , deren elektrischer Vektor E senkrecht zu Längsrichtung der Vertiefungen (16), also senkrecht zur y-Richtung polarisiert ist, tiefer in die Vertiefungen (16) eindringen, als die Komponente, deren elektrischer Vektor parallel zur y-Richtung gerichtet ist. Man kann die Vertiefung (16) nämlich als einen Hohlleiter mit parallelen, elektrisch leitenden Wänden ansehen, die die parallel zur y-Richtung verlaufende elektrische Kompo-

nente der Strahlung kurzschließen. Die Komponente (E_p) kann nicht in die Vertiefung (16) eindringen. Bei den dargestellten polarisierenden Spiegeln erfolgt die Reflexion also je nach Polarisierung in verschiedenen Ebenen $z = t_p, t_s$ mit $t_p > t_s$. t ist der in z -Richtung gerechnete Abstand vom Boden der Vertiefungen (16); die Oberflächen der Erhebungen (14) haben also die Koordinate ($z = t$).

Bei einem ersten Typ des vorliegenden polarisierenden Spiegels wird $a > b$ und $a > \lambda$ gewählt. Die effektive Breite (b) der Vertiefungen ist nach wie vor kleiner als die Hälfte der Wellenlänge der einfallenden Strahlung, wie oben erläutert worden ist. Die Reliefstruktur aus den Erhebungen (14) und den Vertiefungen (16) wird dabei für E_p und E_s (jeweils bezogen auf die y -Richtung) in unterschiedlicher Weise als Beugungsgitter, das viele gebeugte Ordnungen liefert. Für E_p sind die Beugungseffekte und damit auch die Verluste durch Strahlung, die aus dem Strahlengang herausgebeugt wird, vernachlässigbar gering, da t_p ungefähr gleich t ist, und die Reliefstruktur daher für E_p praktisch wie ein ebener Spiegel wirkt, so daß die reflektierte Wellenfront kaum gestört ist. Für E_s (also für die Komponente, deren elektrischer Vektor senkrecht zur y -Richtung schwingt) treten erhebliche Beugungseffekte und damit Beugungsverluste auf, die dadurch besonders groß gemacht werden können, daß man die Tiefe (t) der Vertiefungen (16) gleich einer $1/4$ Wellenlänge macht und damit die Wellenfront maximal stört. Ein Metallspiegel dieses Typs stellt also einen nahezu verlustfreien, hochbelastbaren, linear polarisierenden Spiegel dar, der z. B. als Resonatorspiegel dienen kann. Der Unterdrückungsfaktor dieses Spiegels für die unerwünschte Polarisationskomponente (E_s) kann durch die Wahl der Parameter (a, b) und (t) sowie der Profilform optimal an die Strahlung angepaßt werden, mit der er verwendet werden soll.

Bei einem zweiten Typ des vorliegenden reflektierenden Metallspiegels wird die Summe ($a + b$) kleiner als die Wellenlänge der einfallenden Strahlung gewählt, so daß außer dem reflektierten Strahl keine Beugungsordnung auftritt. Die Form der Wellenfront (z. B. eben) bleibt daher bei der Spiegelung erhalten, und bei der Spiegelung entsteht eine Phasenverschiebung Φ zwischen den Komponenten (E_p) und (E_s), die mit t anwächst und durch die Wahl von a, b sowie gegebenenfalls der Profilform auf spezifische Werte eingestellt werden kann. Es ist dabei nicht nötig, daß a viel kleiner als b sein muß, was in dem hier interessierenden infraroten und sichtbaren Spektralbereich eine aus Gründen der Festigkeit und Haltbarkeit nicht zu realisierenden Einschränkung bedeuten würde. In der Praxis kann man durchaus a etwa gleich b wählen.

Polarisierende Teilspiegel dieses Typs kann man als Laserresonator-Spiegel verwenden, z. B. um die Polarisationsentartung eines Grundmoden-Laseroszillators zu unterdrücken. Je nach Polarisierung tritt die Laserresonanz bei verschiedenen Abstimmungen ein. Bei hinreichender Bandbreite der Verstärkung ist eine simultane Emission zweier orthogonal polarisierter Laserstrahlen möglich, deren Frequenzdifferenz durch die Verzögerung Φ des Spiegels bestimmt wird.

Eine weitere Anwendung ist die Polarisierung eines Lichtstrahls. Ein in der Praxis wichtiger Fall ist $\Phi = 90^\circ$, also die Umwandlung eines linear polarisierten Strahls in einen zirkular polarisierten Strahl oder umgekehrt. Die Phasenverschiebung Φ kann durch Variation des Einfallswinkels, etwa durch Drehung des Spiegels um die x -Achse, kontinuierlich abgestimmt werden. Zu be-

achten ist, daß die Grenzbedingung $(a + b) < \lambda$ nur für senkrechten Einfall gilt. Bei schrägem Einfall, z. B. in der z - y -Ebene ist $(a + b)$ durch $(a + b)(1 - \sin \alpha)$ zu ersetzen.

Die Erfindung ist nicht auf ebene Spiegel mit Reliefmuster beschränkt, sondern läßt sich auch bei gekrümmten metallischen Oberflächen anwenden. Dadurch lassen sich z. B. in einem einzigen optischen Element die beiden Funktionen Zirkularpolarisator und Fokussierspiegel vereinigen. In Verbindung mit einem Linearpolarisator erhält man einen hochbelastbaren Isolator zur Unterdrückung von z. B. von einem Werkstück reflektierter Strahlung.

Für die beiden oben diskutierten Typen gilt die anfangs eingeführte Bedingung $b < \lambda/2$ nicht streng. Sie stellt lediglich die Grenze dar, innerhalb derer sich das Beugungsproblem durch die Betrachtung des Sperr-Verhaltens eines metallischen Hohlleiters darstellen läßt. Im Grunde aber wird jedes beliebige Profil zumindest leicht polarisierend. Die polarisierende Wirkung bleibt auch dann noch sehr hoch, wenn die Sperr-Bedingung (Cutoff-Bedingung) nur knapp überschritten wird, d. h. (b) etwas größer als die halbe Wellenlänge ist.

Es sei weiterhin noch erwähnt, daß die Strukturparameter (a, b und t) und/oder die Profilform und damit Φ über die Spiegelfläche variieren können. Damit lassen sich in einem planaren Element Funktionen wie Fokussieren, Strahlteilung usw. realisieren.

Anstelle der in der Zeichnung dargestellten und oben erläuterten Reliefstruktur aus langgestreckten geradlinigen Erhebungen und Vertiefungen können auch andere Reliefstrukturen verwendet werden solange die Erhebungen und Vertiefungen in der Größenordnung der Wellenlänge betrachtet gerade sind, also solange der Krümmungsradius sehr groß gegen die Wellenlänge ist. Durch ein System von kreisförmigen Erhebungen und Vertiefungen läßt sich beispielsweise eine bezüglich der optischen Achse tangentielle Polarisierung eines Strahlungsbündels erzeugen. In entsprechender Weise können die Erhebungen und Vertiefungen auch die Form von im wesentlichen gleich beabstandeten Ellipsen, Parabeln, Hyperbeln oder anderen Kurven haben.

Bei Verwendung eines CO_2 -Lasers mit einer Emissionswellenlänge von $10,6 \mu\text{m}$ können im Falle eines zirkular polarisierenden 90° -Umlenkspiegels $a = b = 4 \mu\text{m}$ und $t = 2 \mu\text{m}$ gewählt werden. Eine Feinabstimmung der Polarisationswirkung ist durch Variation des Einfallswinkels der Strahlung und durch Drehung des Spiegels um die zur Spiegelfläche senkrechte z -Achse möglich.

1304

Nummer:
Int. Cl.4:
Anm Id tag:
Offenlegungstag:

Fig. 9: 1

37 07 984

G 02 B 5/30

12. März 1987

22. September 1988

BEZUG

3707984

